汉语听觉阈下启动效应：来自听觉掩蔽启动范式的证据*1

姜路遥[1,2]　　李兵兵[1]
([1]江苏师范大学教育科学学院，徐州　221116)
([2]南京师范大学心理学院，南京　210097)

摘　要　使用汉语双字词为实验材料，采用听觉掩蔽启动范式，通过 3 个实验考察汉语听觉阈下启动效应。结果发现，真词的听觉阈下重复启动效应显著，并且听觉阈下重复启动效应不受启动、目标发音者性别一致性的影响。但真词的阈下语音、语素和语义启动效应及假词的阈下重复和首字启动效应都不显著。这些结果说明，听觉通道阈下呈现的汉语双字词的词汇水平信息可以得到无意识加工。汉语双字词的听觉阈下启动效应可能是基于启动词整词表征的无意识激活。

关键词　双字词，听觉掩蔽启动范式，阈下启动效应，无意识加工

分类号　B842

1 引言

阈下启动效应是指阈下呈现的启动刺激对随后出现的与之相关的目标刺激在认知加工上的促进作用(马利军, 张积家, 2011; 王沛, 鲁春晓, 2005; Elgendi et al., 2018)。由于启动刺激处于阈下水平，阈下启动效应反映了对启动刺激的无意识加工(宋娟, 吕勇, 2015)。掩蔽启动范式是阈下启动研究最常用的范式之一。掩蔽启动范式一般是在阈上呈现的目标刺激前短暂的呈现被掩蔽的启动刺激(一般小于 50ms)。阈下启动刺激的加工水平可以通过其对目标刺激的认知加工的影响来推断(Kouider & Dehaene, 2007)。例如，如果启动刺激促进了语义相关的目标刺激的语义加工，则说明阈下启动刺激的语义信息可以得到无意识加工(Kiefer, 2002; Kouider & Dehaene, 2007)。

重复启动是阈下启动研究最常用的启动类型(e.g., Ferrand, 1996; Forster & Davis, 1984)。重复启动中，相关条件的启动刺激与目标刺激完全相同(如：契约—契约)；不相关

1　收稿日期: 2022-05-26

* 国家自然科学基金项目(31700954）

通信作者: 李兵兵, Email: lbb@jsnu.edu.cn

条件的启动刺激与目标刺激不同且不存在语音、语素、语义等关联(如：海洋—契约)。由于相关条件和不相关条件启动、目标刺激间的关系在形、音、义上都存在差异，所以单凭重复启动效应的结果很难揭示阈下启动效应的机制，例如阈下启动效应是基于对启动词的语音表征还是语义表征的激活。因此，研究者通过改变启动、目标词之间的关系，比较语音、语素、语义等类型的启动效应以考察阈下启动效应的机制。语音启动中，相关条件的启动词与目标词仅有部分语音相同(如：红旗—洪水)。显著的阈下语音启动效应意味着启动、目标共享的语音信息的无意识激活影响了目标词的加工(e.g., Ferrand & Grainger, 1992; Shen & Forster, 1999)。语素启动中，相关条件的启动词与目标词共享相同词根语素(如：水泵—水阀)。阈下语素启动效应可以为词汇加工早期的语素分解提供实验证据(e.g., Grainger et al., 1991; Rastle et al., 2000)。语义启动中，相关条件的启动词和目标词仅存在语义上的联系(如：战士—军队)。显著的阈下语义启动效应反映了启动词相关语义网络的无意识激活扩散(e.g., Greenwald et al., 1996; Marcel, 1983)。

早期的掩蔽启动研究多使用英语、法语等印欧语系语言的词语为实验材料(e.g., Dehaene et al., 2004; Dupoux et al., 2003; Greenwald et al., 1996)。后来，研究者在汉语中也发现了类似的掩蔽启动效应，被掩蔽的启动词不仅会影响相关目标词的识别(沈模卫 等, 2004; 赵思敏 等, 2017; Weekes et al., 1998)，甚至能够促进相关言语的产生(蒋宇宸 等, 2020; Zhang & Damian, 2019)。Wang 等人(2014)的研究发现，当被掩蔽的启动刺激与目标刺激为笔画邻近字时(如：勺—习)，目标刺激的识别速度变慢，这说明被掩蔽的启动刺激的字形信息得到了精细的加工，并阻碍了相关目标刺激的加工。此外，更多的研究发现汉语的阈下启动效应可能发生在比字形(感知觉特征)更高的水平上。例如，汉语对英语、日语等不同语系语言存在显著的翻译启动效应(王悦, 张积家, 2013, 2014; Zhang et al., 2019)，这意味着对启动刺激的无意识加工激活了其与目标词共享的词汇表征(Davis & Kim, 2021)，从而易化了目标词的词汇判断过程。还有研究以汉语双字词为实验材料，发现阈下呈现的与目标词存在语义关联的启动词可以促进目标词的语义加工(水仁德 等, 2003; 王沛, 鲁春晓, 2005; Wu et al., 2020)。

上述研究促进了我们对汉语无意识加工心理机制的认识。然而，这些研究都是使用视觉呈现的词语为实验材料。因此，这些研究无法揭示汉语在听觉通道下是否存在类似的阈下启动效应。听觉通道在日常沟通交流中扮演着重要作用。而且，对不具备书写、阅读能力的人(如儿童、文盲)来说，听觉通道是唯一的语言交流途径(Kouider & Dupoux, 2005)。此外，与视觉相比，听觉通道具有更高的时间分辨率(Pasinski et al., 2016)。由于视觉和听觉通道的认知加工过程存在较大差异，不能直接用视觉阈下启动效应的研究成果解释听觉言语信息的无意识加工。将汉语阈下启动研究从视觉通道扩展到听觉通道有助于扩展对听觉通道汉语无意识加工过程的认识，厘清视、听通道汉语无意识加工的差异，促进对汉语无意识加工的全面认识。但目前还没有研究考察汉语的听觉阈下启动效应。因此，本研究

拟使用汉语双字词为实验材料考察汉语听觉通道的阈下启动效应。

听觉掩蔽启动范式(auditory masked priming paradigm)是研究印欧、闪含等非汉藏语系语言听觉阈下启动效应常用的实验范式。Kouider 和 Dupoux(2005)最早将听觉掩蔽启动范式用于听觉阈下启动效应研究。他们使用法语词语为实验材料，采用倒放的词语作为掩蔽刺激。在实验中，他们在阈上的目标词前呈现被前后掩蔽刺激遮掩的启动刺激。除了掩蔽刺激的干扰，他们还通过压缩启动刺激的持续时间来降低其觉察水平。他们在实验中设置了四种压缩率：35%、40%、50%、70%。实验结果发现，当压缩率为 35%时，被试觉察不到启动刺激，并且启动和目标相同条件下的目标词的反应时显著短于两者不同的条件，即存在显著的阈下重复启动效应。后来，一些采用听觉掩蔽启动范式和同属印欧语系语言的英语(Davis et al., 2010)、德语(Degner, 2011)及闪含语系语言词语(Schluter, 2013; Ussishkin et al., 2015)的研究也发现了显著的听觉阈下重复启动效应。

虽然使用印欧、闪含等不同语系的研究均发现了听觉阈下重复启动效应，但不同语系语言的听觉阈下启动效应研究的结果也存在差异。Kouider 和 Dupoux(2005)以法语为实验材料的研究发现，听觉阈下重复启动效应显著，但语素、语音和语义条件下的听觉阈下启动效应均不显著。其它使用印欧语系语言的研究也同样仅观察到了显著的阈下重复启动(Bermeitinger et al., 2012; Davis et al., 2010; Kopeikina et al., 2015)。与印欧语系语言的研究结果不同，使用闪含语系语言的研究不仅发现了显著的听觉阈下重复启动效应，还发现了显著的听觉阈下语素启动效应(Gearyhe & Ussishkin, 2019; Schluter, 2013; Ussishkin et al., 2015)。出现这种差异的原因可能是法语、英语等印欧语系语言词语的形态学变化更为复杂，而闪含语系语言(如马耳他语)的词根语素包含更多足以引起掩蔽启动效应的信息(Ussishkin et al., 2015)。这意味着不同语系语言的构词特点是影响听觉阈下启动效应的重要因素。

汉语词汇的构词和形态变化与印欧、闪含语系等字母语言存在差异。派生是大部分字母语言构词的主要方式，即词根语素与词缀组合以构成新的词语，而汉语中 70%以上的词语是由词根语素并行排列组成的复合词(邹丽娟, 舒华, 2013; Zhou & Marslen-Wilson, 1995; Zhou et al., 1999)。印欧、闪含语系语言的词汇往往通过屈折变化以达到表征语法的目的(如数量、时态、语态的变化)，而屈折变化在汉语中并不常见。此外，与印欧、闪含语系语言相比，汉语中存在较多的同音异形字(词)。基于汉语和印欧、闪含语系的这些差异，汉语的听觉阈下启动效应可能表现出与印欧、闪含语系语言不同的特点。因此，本研究采用听觉掩蔽启动范式考察汉语双字词的听觉阈下启动效应。

Dupoux 等人(2008)考察启动、目标刺激之间的时间间隔(inter stimulus interval, ISI)对听觉阈下启动效应的影响发现，听觉阈下启动效应的大小随着启动、目标刺激之间 ISI 的增加而减小，并且当 ISI 大于 400ms 时，听觉阈下启动效应不再显著。这种 ISI 效应反映了阈下启动词的无意识激活的持续时间。但是，目前研究仅考察了听觉通道下法语词语无意识激活的持续时间。听觉阈下启动效应受启动、目标之间 ISI 的调节是否具有跨语言普遍性

还需要进一步研究的验证。因此，本研究的实验 3 通过考察启动和目标之间的 ISI 对听觉阈下启动效应的影响探讨听觉通道汉语双字词无意识激活的持续时间。

综上所述，为了探索汉语听觉言语信息的无意识加工，本研究采用听觉掩蔽启动范式，以汉语双字词为实验材料，考察汉语的听觉阈下启动效应。本研究共包括三个实验。实验 1 采用听觉掩蔽启动范式考察汉语双字词的重复启动、语素启动、语音启动、语义启动效应以确定听觉通道阈下呈现的汉语双字词的无意识加工水平。实验 2 通过操纵启动、目标词发音者性别一致性，考察启动与目标词声学特征的相似性对汉语听觉阈下重复启动效应的影响，以探讨低(非词汇)水平的感知觉加工对汉语听觉阈下启动效应的贡献。实验 3 通过操纵启动、目标词的间隔时间(ISI)，探讨听觉通道阈下呈现的汉语双字词无意识激活的持续时间。

2 实验 1：听觉通道汉语双字词的阈下加工水平

实验 1 的目的是考察听觉通道汉语双字词的阈下加工水平并确定汉语听觉掩蔽启动实验中启动词的最优压缩率。实验 1 通过操纵启动、目标词之间的关联类型设置了真词重复启动、语素启动、语音启动、语义启动和假词重复启动、首字启动共 6 种启动类型。通过考察不同类型阈下启动效应是否显著及效应大小，可以推断听觉阈下启动效应的机制。根据先前研究结果(e.g., Davis et al., 2010; Kouider & Dupoux, 2005)，实验 1 假设，真词阈下重复启动效应显著，真词其他类型的启动效应及假词阈下重复启动和首字启动效应都不显著实验 1 的第二个目的是确定汉语听觉掩蔽启动实验中启动词的最优压缩率。参考 Kouider 和 Dupoux(2005)的研究，实验 1 设置了 40%、50%和 60%三种压缩率条件。实验 1 结合被试的主观报告和客观探测实验结果确定对启动刺激的加工是否是无意识的。实验 1 假设，对 40%压缩率启动刺激的加工是无意识的，对 60%压缩率启动刺激的加工是有意识的。

2.1 方法

2.1.1 被试

使用 GPower 3.1 软件估计实验所需的样本量(Faul et al., 2007)。参考听觉阈下启动效应的经典研究(Kouider & Dupoux, 2005)，阈下重复启动效应的效应量为= 0.24(f = 0.56)。本实验设置效应量为 f = 0.56。在 $1 – β = 0.95$，$α = 0.05$ 的前提下，各被试间变量水平所需被试量至少为 13 人。本实验招募本科生与研究生共 72 人(每个压缩率条件各 24 人)，其中男性被试 22 人，被试年龄 19~26 岁(M = 22.14, SD = 2.21)。所有被试听力正常且母语为汉语。被试在实验结束后获得适当报酬。

2.1.2 实验设计与材料

实验 1 采用 3(启动刺激时间压缩率：40%，50%，60%) × 2(启动、目标相关性：相关、不相关) × 6(启动类型：真词的重复启动、语素启动、语音启动、语义启动和假词的重复启动、首字启动)的混合实验设计。启动刺激时间压缩率为被试间变量，其余为被试内变量。因变量为被试对目标刺激作词汇判断的反应时。

实验材料为双字汉语真词和假词声音。所有词语均为双音节 CV – CV 结构。声音刺激是由百度云计算(https://cloud.baidu.com/)提供的语音合成技术生成的音频文件。发音者性别统一为男性。使用基于 Python 的 pysox 音频编辑器对声音刺激进行编辑(Bittner et al., 2016)。采用 WSOLA 算法对声音刺激进行时域压缩以保留声音刺激的频域信息(Verhelst & Roelands, 1993)。目标刺激的时长都是 522ms。结合先前研究和预实验的结果，实验一将各压缩率条件的启动刺激压缩成目标时长的 40%(208ms)、50%(261ms)、60%(313ms)。掩蔽刺激是倒放的启动刺激。启动和掩蔽刺激的音量比目标刺激低 15dB。

真词包括 4 种启动类型：重复启动(启动、目标刺激完全相同)、语素启动(启动、目标刺激的首个语素相同)、语音启动(启动、目标刺激首字同音，但非同一语素)和语义启动(启动、目标刺激不存在语音、语素上的联系，但存在语义联系)。假词包括两种启动类型：重复启动(如：萨合—萨合)和首字启动(启动和目标词首字相同，如：萨合—萨请)。

选取 192 个真词和 192 个假词作为目标刺激。启动、目标相关条件下，真词的每种启动类型包含 48 个目标刺激，假词的每种启动类型包含 96 个目标刺激。各启动类型下目标真词的词频见表 1。4 种启动类型的目标刺激词频不存在显著差异，$F(3, 188) = 0.36$，$p = 0.785$,= 0.01, 90% CI = [0.00, 0.02]，词频数据来自语料库在线(教育部语言文字应用研究所计算语言学研究室, 2011)。启动、目标词相关和不相关条件使用相同的目标刺激。根据各启动类型的定义，选取相应的启动词和目标词配对组成各启动类型的启动条件词表。选取与目标刺激无语音、语义关联的启动词和目标词配对组成各启动类型的不相关条件词表。将每个词表分为两半以在 blocks 间平衡词语所属的相关或不相关条件。

表 1 实验 1 真词各条件目标刺激词频(次/百万)

启动类型	N	词频($M \pm SD$)
重复启动	48	96.40 ± 92.43
语素启动	48	99.08 ± 96.15
语音启动	48	102.81 ± 109.29
语义启动	48	116.40 ± 121.01

2.1.3 实验程序

实验在封闭、隔音的实验室内进行。语音刺激由计算机通过头戴式耳机播放。使用 PsychoPy 3 呈现刺激以及记录反应(Peirce, 2007)。

实验 1 刺激呈现流程见图 1。每个试次开始时先播放一个掩蔽刺激，紧接着播放启动

刺激，随后播放目标刺激(ISI = 0ms)。播放目标刺激的同时依次播放另外三个掩蔽刺激。目标刺激开始播放的 1500ms 后试次结束，然后立刻播放 500ms 的提示音(“滴”)，提示被试即将进入下一试次。提示音结束后立刻播放下一试次。实验任务是要求被试在听到清晰的目标刺激后既快又准确地使用键盘的“F”和“J”键对目标刺激进行真假词判断。在被试间平衡按键与真假词的对应关系。

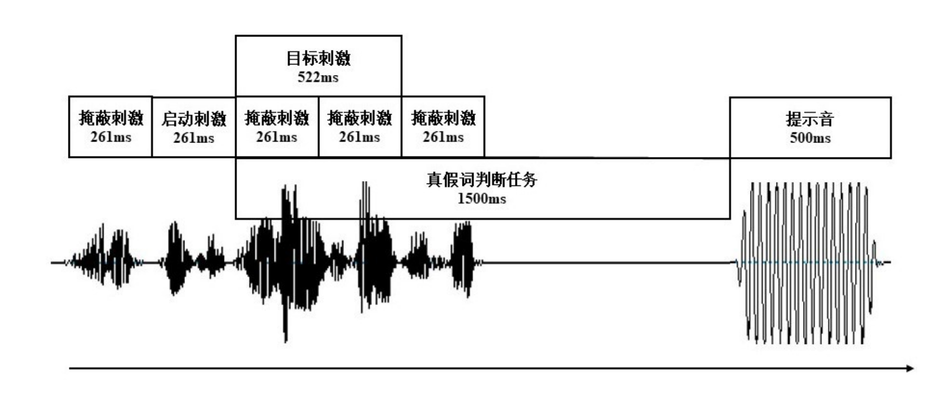


图 1 实验 1 刺激呈现流程图(50%压缩率)

实验 1 共有 4 个 blocks：前两个 blocks 为一组，后两个 blocks 为一组。每个 block 有 192 个试次：真词每种启动类型条件各有 24 个试次(相关、不相关条件试次各一半)，假词每种启动类型条件有 48 个试次(相关、不相关条件试次各一半）。刺激所属的相关、不相关条件在 blocks 间进行平衡，即某个刺激在前(后)两个 blocks 中为相关条件，则其在后(前)两个 blocks 中为不相关条件。刺激在前两个 blocks 还是在后两个 blocks 中为相关条件在被试间进行平衡。在每个 block 中，以伪随机的顺序呈现刺激，即相同启动类型的刺激不会连续出现，同类型的目标刺激(真词或假词)不会连续出现超过 4 次。被试在实验开始前先进行 20 个试次的练习。被试可在每个 block 之间进行休息，休息时长由被试自行决定，但不会超过 3min。

实验结束后采用主观报告和客观探测两种方法检测被试对启动刺激的觉察水平。主观报告是在和被试解释启动刺激的存在后要求被试报告是否在实验中听到了被掩蔽的启动刺激。随后进行客观探测任务。客观探测的刺激呈现流程与正式实验存在两点区别：1)去除了目标刺激；2)告知被试启动刺激的存在，并要求被试对启动刺激进行真假词判断(若无法听到启动刺激则依据猜测作判断)。客观探测任务共包含 192 个试次(真假词各一半)。被试在实验开始前先进行 20 个试次的练习。掩蔽启动实验和客观探测实验共用时约 45 min。

2.2 结果

2.2.1 启动刺激觉察水平

本研究采用主客观结合的方法确定对启动刺激的加工是否是无意识的(Sweeny et al.,

2009)。只有被试主观报告没有觉察到启动刺激并且在客观探测实验中无法区分启动刺激是真词还是假词才认为对启动刺激的加工是无意识的。若以上两个条件都不满足，则认为对启动刺激的加工是有意识的。

主观报告结果显示，40%和 50%压缩率条件的被试均报告没有在目标刺激之前听到任何词语；60%压缩率条件的 24 名被试中，有 23 人报告在某些试次中可以听到启动刺激。

将客观探测任务中三种压缩率条件的正确率分别与随机水平(0.5)进行单样本 t 检验。结果显示，40%压缩率条件的正确率($M = 0.51$, $SD = 0.03$)与 0.5 之间不存在显著差异，$t(23) = 0.94$, $p = 0.36$, $d = 0.19$, 95% CI = [– 0.21, 0.59]；50%和 60%压缩率条件的正确率($M = 0.55$, $SD = 0.04$ 和 $M = 0.67$, $SD = 0.11$)都显著大于 0.5，$t(23) = 5.44$, $p < 0.001$, $d = 1.11$, 95% CI = [0.59, 1.62]；$t(23) = 7.28$, $p < 0.001$, $d = 1.49$, 95% CI = [0.89, 2.06]。这说明，当压缩率为 40%时，反应正确率和随机水平没有差异。将客观探测任务中的真词视为信号，假词视为噪音，计算被试对阈下启动刺激的辨别力 d'(40%: $M = 0.07$, $SD = 0.21$; 50%: $M = 0.29$, $SD = 0.23$; 60%: $M = 1.00$, $SD = 0.66$)。将三种压缩率条件的 d'与 0 进行单样本 t 检验。结果显示，40%压缩率条件的 d'与 0 之间不存在显著差异，$t(23) = 1.47$, $p = 0.16$, $d = 0.3$, 95% CI = [–0.11, 0.71]；50%压缩率条件的 d'显著大于 0，$t(23) = 5.92$, $p < 0.001$, $d = 1.21$, 95% CI = [0.67, 1.73]；60%压缩率条件的 d'显著大于 0，$t(23) = 7.30$, $p < 0.001$, $d = 1.49$, 95% CI = [0.90, 2.07]。

主观报告和客观探测结果表明，对 40%压缩率条件启动刺激的加工是无意识的，而对 60%压缩率条件启动刺激的加工是有意识的。因此，本研究将 40%压缩率条件的启动效应确定为阈下启动，而 60%压缩率条件的启动效应确定为阈上启动。

2.2.2 启动效应

对阈下启动效应实验结果进行分析时仅纳入正确反应的试次，并剔除超过或低于平均反应时 2.5 个标准差的试次(Finkbeiner & Palermo, 2009)。被剔除试次占总试次的 1.70%。真词、假词各条件下的反应时分别见表 2 和表 3。

对真词条件的反应时进行 4(启动类型：重复启动、语素启动、语音启动、语义启动) × 2(启动-目标相关性：相关、不相关) × 3 (启动刺激压缩率：40%、50%、60%)的重复测量方差分析发现，启动-目标相关性、启动类型与启动刺激压缩率三因素间的交互作用显著，$F(6, 207) = 6.49$, $p < 0.001$,= 0.16, 90% CI = [0.07, 0.22]。因此，进一步分析三种压缩率条件的各类型启动效应是否显著。

40%压缩率条件的重复启动效应显著，$F(1, 23) = 6.63$, $p = 0.017$, = 0.22, 90% CI = [0.03, 0.45]，启动、目标相关条件的反应时显著短于不相关条件，语音、语素和语义启动效应都不显著，$ps > 0.05$；50%压缩率条件的重复启动效应显著，$F(1, 23) = 112.43$, $p < 0.001$, =

0.83, 90% CI = [0.71, 0.89]，启动、目标相关条件的反应时显著短于不相关条件，语音、语素和语义启动效应都不显著，$ps > 0.05$；60%压缩率条件的重复启动($F(1, 23) = 117.85$, $p < 0.001$, = 0.84, 90% CI = [0.72, 0.89])、语素启动($F(1, 23) = 31.50$, $p < 0.001$, = 0.58, 90% CI = [0.34, 0.72])和语义启动($F(1, 23) = 23.67$, $p < 0.001$, = 0.51, 90% CI = [0.26, 0.67])效应都显著，启动、目标相关条件的反应时显著短于不相关条件，语音启动效应不显著，$F(1, 23) = 0.46$, $p = 0.504$, = 0.02, 90% CI = [0.00, 0.19]。

结合启动刺激觉察水平的结果，进一步比较阈上(60%压缩率)和阈下(40%)条件各类型启动效应的大小。对阈上、阈下条件各类型启动效应(相关与不相关条件反应时之差)进行独立样本 t 检验。结果显示，阈上重复启动效应($M = 100.46$, $SD = 45.34$)显著大于阈下重复启动效应($M = 16.09$, $SD = 30.62$)，$t(46) = 7.56$, $p < 0.001$, $d = 2.18$, 95% CI = [1.60, 2.76]。阈上语素启动效应($M = 28.69$, $SD = 25.05$)显著大于阈下语素启动效应($M = 10.68$, $SD = 33.07$)，$t(46) = 2.13$, $p = 0.039$, $d = 0.61$, 95% CI = [0.03, 1.20]。阈上语音启动($M = 6.38$, $SD = 46.07$)和阈下语音启动($M = 9.18$, $SD = 29.11$)效应差异不显著，$t(46) = 0.25$, $p = 0.802$, $d = 0.073$, 95% CI = [-0.49, 0.64]。阈上语义启动效应($M = 30.27$, $SD = 30.48$)显著大于阈下语义启动效应($M = 0.11$, $SD = 37.42$)，$t(46) = 3.06$, $p = 0.004$, $d = 0.88$, 95% CI = [0.30, 1.46]。

表 2 实验 1 真词各条件下的反应时(*SE*)

启动类型	压缩率	相关条件	不相关条件
重复启动			
	40%	953 (12.0)	969 (9.9)
	50%	906 (21.6)	970 (19.5)
	60%	861 (18.2)	962 (17.0)
语素启动			
	40%	961 (11.4)	972 (14.4)
	50%	953 (20.2)	970 (20.9)
	60%	929 (16.5)	958 (16.7)
语音启动			
	40%	957 (11.6)	966 (11.9)
	50%	965 (19.7)	965 (16.5)
	60%	953 (19.4)	960 (16.5)
语义启动			
	40%	962 (10.2)	962 (12.5)
	50%	961 (19.6)	968 (22.8)
	60%	930 (16.8)	960 (15.3)

对假词条件的反应时进行 2(启动类型：重复启动、首字启动) × 2(启动、目标相关性：相关、不相关) × 3 (启动刺激压缩率：40%、50%、60%)的重复测量方差分析。结果显示，启动、目标相关性、启动类型与压缩率三因素间的交互作用边缘显著，$F(2, 69) = 2.79$，$p = 0.069$,= 0.08, 90% CI = [0.00, 0.18]。因此，进一步分析三种压缩率条件的各类型启动效应是否显著。40%和 50%压缩率条件的重复启动和首字启动效应都不显著，$ps > 0.05$；60%压缩率的重复启动效应显著，$F(1, 69) = 47.09$，$p < 0.001$,= 0.41, 90% CI = [0.26, 0.53]，启动、目标相关条件的反应时显著短于不相关条件，首字启动效应不显著，$p > 0.05$。

表 3 实验 1 假词各条件下的反应时(*SE*)

启动类型	压缩率	相关条件	不相关条件
重复启动			
	40%	1068 (16.6)	1072 (16.1)
	50%	1062 (21.9)	1069 (21.7)
	60%	1003 (22.6)	1038 (21.5)
首字启动			
	40%	1076 (15.5)	1078 (16.2)
	50%	1075 (22.3)	1069 (21.6)
	60%	1025 (21.9)	1031 (20.9)

2.3 讨论

启动刺激觉察水平的结果分析发现，对 40%压缩率条件启动刺激的加工是无意识的，而对 60%压缩率条件启动刺激的加工是有意识的。对真词和假词的阈下和阈上启动效应分析发现，真词的各类型阈下启动中仅有重复启动效应显著；真词的各类型阈上启动中仅有语音启动效应不显著；假词的各类型阈上和阈下启动中仅有阈上重复启动效应显著。

实验 1 发现，真词的阈下重复启动效应显著，而假词的阈下重复和首字启动效应都不显著。这与先前其他语系语言的研究结果一致(e.g. Kouider & Dupoux, 2005; Ussishkin et al., 2015)。真词和假词的区别是，仅有真词在心理词典中存在相应的词汇(lexical)表征，而且有的真词可以激活对应具体物体的表征。虽然在真词和假词阈下重复启动的相关条件下，启动和目标词的低水平声学特征的相似性是相同的，但真词可以激活心理词典中对应的词汇水平的表征或更高水平的语义等表征。因此，仅有真词的阈下重复启动效应显著的结果说明，听觉阈下启动效应不是基于启动词低水平声学特征的无意识激活。

实验 1 中的阈下语素、语音启动效应都不显著。这与先前印欧语系语言研究的结果一致(e.g. Kouider & Dupoux, 2005)。汉语复合词的分层聚类表征模型(Multi-Level Cluster Representation Model, MCRM)认为，心理词典中存在音节、语素和整词三个表征层。语音信息输入后，三个表征层会同时被激活并相互作用，最终完成词汇通达(Zhou & Marslen-Wilson, 1994, 1995)。Zhou 和 Marslen-Wilson(1995)认为，汉语双字词在心理词典中存在语素和整词两个表征层。共享语素的两个词在整词表征层并没有直接的联系，而是通过位于语素表征层上的语素表征节点相连。因此，显著的语素启动效应是基于启动词和目标词共享语素表征的激活。阈上语素启动显著而阈下语素启动不显著的结果意味着听觉通道汉语双字词语素表征的激活可能需要意识参与。而在语素表征层上，同音语素的节点会构成一个语素集合，同一集合中的语素会在词汇加工过程中相互竞争。因此，语音启动相关条件的启动词会阻碍首字读音相同的目标词的加工。阈下语音启动不显著的结果说明，阈下启动词的首字没有激活其对应的同音语素集合。由于重复启动条件下，启动词和目标词具有相同的整词表征和语素表征，阈下语素和语音启动不显著的结果说明，听觉阈下启动效应

可能是基于启动词整词表征的无意识激活。

同先前研究一样(Kouider & Dupoux, 2005)，实验 1 也没有发现显著的听觉阈下语义启动效应。只有当压缩率为 60%时，语义启动效应才显著。根据激活扩散模型，语义启动效应是由于启动词语义表征的激活通过语义网络的扩散促进了与其有语义关系的目标词的激活(Greenwald et al., 1996; Marcel, 1983)。显著的阈下语义启动效应通常被作为启动刺激的无意识加工达到语义水平的证据(伍姗姗　等, 2013)。因此，本研究中阈下语义启动效应不显著的结果不能为启动词的语义信息可以得到无意识激活提供实验证据。但是，本研究的结果也不能排除启动词的语义信息可以得到无意识激活的可能性。阈下启动词语义信息的激活可能十分微弱，反应时指标(或任务类型)的敏感度可能不足以观察到其对目标刺激加工的影响。

基于对阈下启动效应结果的分析可以推断真词的听觉阈下重复启动效应是基于对阈下启动词整词表征的无意识激活。但由于实验 1 没有比较启动、目标词声学特征相似和不相似条件真词的阈下重复启动效应，实验 1 的结果并不能排除启动、目标词之间声学特征的相似性对真词阈下重复启动效应有贡献的可能。因此，实验 2 将对此问题进行进一步考察。

3 实验 2：启动、目标发音者性别一致性对汉语听觉阈下启动效应的影响

实验 1 的结果表明汉语的听觉阈下启动效应是基于启动词词汇水平表征的无意识激活，但实验一的结果无法说明启动、目标低水平的声学特征的相似性是否影响阈下启动效应。实验 2 的研究目的是考察启动、目标声学特征相似性对汉语的听觉阈下重复启动效应的影响。实验 2 通过操纵启动、目标发音者性别一致性来控制启动、目标的声学特征相似性。启动、目标发音者性别一致时，启动和目标刺激的声学特征是相似的，而启动、目标发音者性别不一致时，启动和目标刺激在频率、音色等声学特征上存在较大差异。因此，比较这两个条件下听觉阈下重复启动效应的大小可以考察启动、目标声学特征的相似性对听觉阈下重复启动效应的贡献。实验 2 假设，启动、目标声学特征的相似性不影响听觉阈下重复启动效应。

3.1 方法

3.1.1 被试

样本量估计同实验 1。招募本科生与研究生共 36 人，有一名被试因错误按键在统计结果时被剔除。有效被试 35 人(其中男性被试 9 人)，年龄 19~26 岁(M = 20.92, SD = 1.98)。所有被试听力正常且母语为汉语，实验结束后会获得适当报酬。

3.1.2 实验设计和材料

实验 2 采用 2(启动、目标刺激发音者性别一致性：一致、不一致) × 2(启动、目标相关性：相关、不相关) × 2(刺激类型：真词、假词)的三因素被试内实验设计。

选取 64 个真词与 64 个假词作为目标刺激。启动、目标发音者性别一致、不一致条件各包含 32 个真词和假词。发音者性别一致(M = 146.50 次/百万, SD = 77.12)与

一致条件(M = 144.31 次/百万, SD = 76.54)的真词词频不存在显著差异，$t(62) = –0.11$, $p = 0.91$, $d = 0.03$, 95% CI = [–0.46, 0.52]。另外选取 64 个真词与 64 个假词作为不相关条件下的启动刺激，与目标刺激组成不相关刺激对。音频文件生成方法与实验 1 相同。启动刺激的压缩率为 40%。每个词语均有男声、女声两个版本

3.1.3 实验程序

实验刺激的播放流程和任务同实验 1。实验包含两个 blocks，每个 block 包含 128 个试次(每个条件包含 16 个试次)。两个 blocks 中的试次使用相同的目标刺激，但其与启动刺激的相关性不同(如目标刺激 A 在 block1 中与启动刺激相关，则在 block2 中与启动刺激不相关)。两个 blocks 中的目标刺激发音者性别不同。目标刺激发音者性别与 blocks 的匹配在被试间进行平衡。以伪随机的顺序呈现刺激，相同条件的刺激不会连续出现，同类型的目标刺激(真词或假词)不会连续出现超过 4 次。实验开始前先让被试进行 24 个试次的练习。

实验结束后，采用和实验 1 相同的主观报告和客观探测两种方法确定被试对被掩蔽的启动刺激的觉察水平。在客观探测任务中共有 96 个试次。其中一半的启动刺激发音者为男性，另一半为女性。被试在客观探测任务开始前先进行 20 个试次的练习。实验 2 和启动刺激觉察检测共用时约 15 分钟。

3.2 结果

3.2.1 启动刺激觉察水平

主观报告的结果显示，所有被试均报告在目标刺激前没有觉察到启动刺激。被试对启动刺激反应的正确率(M = 0.50, SD = 0.07)与随机水平(0.5)不存在显著差异，$t(34) = –0.34$, $p = 0.73$, $d = –0.06$, 95% CI = [–0.38, 0.27]。采用信号检测论计算被试对启动刺激的辨别力 d'(M = 0.031, SD = 0.19)。主观报告和客观探测的结果一致表明，在本实验中被试无法觉察到被掩蔽的启动刺激，启动刺激处于阈下水平。

3.2.2 阈下启动效应

对阈下启动效应实验结果进行分析时，仅纳入正确反应的试次，并剔除超过或低于平

均反应时 2.5 个标准差的试次(Finkbeiner & Palermo, 2009)，被剔除试次占总试次的 1.43%。真词和假词各条件的反应时见表 4。

分别对真词和假词条件的反应时进行 2(启动、目标相关性：相关、不相关) × 2(启动、目标发音者性别一致性：一致、不一致)的重复测量方差分析。结果显示，真词条件的启动、目标相关性主效应显著，$F(1, 34) = 6.81$，$p = 0.013$,= 0.17, 90% CI = [0.02, 0.35]，启动、目标相关条件下的反应时短于不相关条件。并且，启动、目标相关性与启动、目标发音者性别一致性交互作用不显著，$F(1, 34) = 0.07$，$p = 0.79$,= 0.002, 90% CI = [0.00, 0.08]。假词条件的启动、目标相关性主效应以及相关性与发音者性别一致性的交互作用都不显著，$ps > 0.05$。

表 4 实验 2 各条件下的反应时(*SE*)

刺激类型	发音者性别一致性	相关条件	不相关条件
真词	一致	918 (19.1)	930 (16.8)
	不一致	917 (17.5)	933 (18.7)
假词	一致	1030 (19.7)	1025 (18.4)
	不一致	1054 (19.7)	1043 (17.7)

3.3 讨论

实验 2 的结果表明，仅真词条件下被试对启动、目标相关试次的反应比不相关试次更快。这验证了实验 1 的结果，即汉语的听觉阈下重复启动效应仅存在于真词中。而且，启动、目标发音者性别一致性和启动-目标相关性的交互作用不显著。这说明汉语的听觉阈下重复启动效应不受启动、目标发音者性别一致性的影响。启动、目标发音者性别一致条件下启动、目标词语音的声学特征比

一致条件下更相似(Latinus & Belin, 2011)。因此，本实验结果说明启动、目标之间声学特征的相似性对汉语的听觉阈下重复启动效应没有影响。这说明，汉语的听觉阈下重复启动效应不是基于对启动词表面知觉特征的无意识加工，而是基于对启动词的词汇水平信息的无意识加工(Kouider & Dupoux, 2005)。

4 实验 3：启动和目标的 ISI 对汉语听觉阈下启动效应的影响

实验 3 的目的是考察启动和目标刺激的 ISI 对听觉阈下重复启动效应的调节作用，并探讨听觉通道汉语双字词无意识激活的持续时间。实验 3 设置了 0ms、208ms、416ms、624ms 和 832ms 共 5 种 ISI 条件。实验 3 假设，汉语的听觉阈下重复启动效应随 ISI 的增加逐渐减小。

4.1 方法

4.1.1 被试

样本量估计同实验 1。招募本科生与研究生被试共 38 人(其中男性被试 6 人)，年龄 18~23 岁(M = 19.93, SD = 1.13)。所有被试听力正常且母语为汉语，实验结束后会获得适当报酬。

4.1.2 实验设计和材料

实验 3 采用 5(ISI: 0ms、208ms、416ms、624ms、832ms) × 2(启动-目标相关性：相关、不相关) × 2(刺激类型：真词、假词)的三因素被试内实验设计。

选取真、假词各 100 个作为目标刺激。每种 ISI 水平下真、假词各 20 个。5 种 ISI 水平下目标刺激(真词)词频见表 5。各 ISI 水平下目标刺激词频不存在显著差异，$F(4, 95)$ = 0.14，p = 0.967,= 0.006, 90% CI = [0.00, 0.01]。另外选取真、假词各 100 个作为启动、目标不相关条件下的启动刺激。声音编辑方法同实验 1。启动刺激的压缩率为 40%。

表 5 实验 3 真词各条件目标刺激词频(次/百万)

ISI	N	词频($M \pm SD$)
0	20	125.45 ± 74.20
208	20	144.40 ± 94.88
416	20	136.00 ± 88.01
624	20	134.55 ± 81.11
832	20	141.05 ± 92.07

4.1.3 实验程序

声音刺激的呈现流程与实验 1 类似。不同的是，实验 3 每个试次包含 9 个掩蔽刺激。目标刺激固定在第六个掩蔽刺激后呈现。启动刺激的呈现位置随所属的 ISI 条件而动态调整。掩蔽启动实验有 4 个 blocks。每个 block 包含 100 个试次。其中真、假词各 50 个，相关、不相关条件的试次各 50 个，每种 ISI 水平各 20 个试次。每个目标刺激在前两个 blocks 和后两个 blocks 中各呈现一次，但其在前后两个 blocks 中所属的相关、不相关条件不同。以伪随机的顺序呈现刺激，相同条件的刺激不会连续出现，同类型的目标刺激(真词或假词)不会连续出现超过 4 次。被试在实验开始前先进行 16 个试次的练习。

掩蔽启动试验结束后，同样采用主观报告和客观探测两种方法确定被试对被启动刺激的觉察水平。在客观探测实验中共有 100 个试次（每种 ISI 水平下各 20 个）。整个实验用时约 25 分钟。

4.2 结果

4.2.1 启动刺激觉察水平

主观报告的结果显示，所有被试均报告在目标刺激前没有觉察到启动刺激。被试对启动刺激反应的正确率(M = 0.49, SD = 0.06)与随机水平(0.5)不存在显著差异，$t(34) = –0.75$, $p = 0.46$, $d = –0.12$, 95% CI = [–0.44, 0.20]。采用信号检测论计算被试对阈下启动刺激的辨别力 $d’$(M = 0.035, SD = 0.31)。主观报告和客观探测的结果一致表明，在本实验中被试无法觉察到被掩蔽的启动刺激，启动刺激处于阈下水平。

4.2.2 阈下启动效应

对阈下启动实验结果进行分析时，仅纳入正确反应的试次，并剔除超过或低于平均反应时 2.5 个标准差的试次(Finkbeiner & Palermo, 2009)。被剔除试次占总试次的 1.01%。各条件下的描述统计结果见表 6。

分别对真词和假词条件的反应时进行 2(启动、目标相关性：相关、不相关) × 5(ISI: 0ms、208ms、416ms、624ms、832ms)的重复测量方差分析。结果显示，真词条件的启动、目标相关性与 ISI 的交互作用显著，$F(4, 148) = 2.49$，$p = 0.046$, = 0.06, 90% CI = [0.001, 0.12]。简单效应分析结果显示， ISI 为 0ms、208ms 和 416ms 时相关条件的反应时显著短于不相关条件，$F(1, 37) = 5.05$，$p = 0.031$,= 0.12, 90% CI = [0.01, 0.30]；$F(1, 37) = 10.08$，$p = 0.003$,= 0.21, 90% CI = [0.05, 0.39] 和 $F(1, 37) = 4.44$，$p = 0.042$,= 0.11, 90% CI = [0.002, 0.28]；当 ISI 为 624ms 和 832ms 时，相关、不相关条件的反应时没有显著差异，$ps > 0.05$。假词条件的启动、目标相关性主效应以及 ISI 与相关性的交互作用都不显著，$ps > 0.05$。

表 6　实验 3 各条件下的反应时(*SE*)

刺激类型	ISI	相关条件	不相关条件
真词			
	0	873 (14.5)	887 (12.6)
	208	872 (12.4)	890 (11.1)
	416	877 (11.8)	891 (12.6)
	624	883 (11.8)	889 (11.1)
	832	886 (11.6)	883 (11.7)
假词			
	0	969 (16.8)	968 (14.3)
	208	979 (16.0)	977 (13.0)
	416	985 (14.4)	982 (16.6)
	624	985 (15.4)	990 (13.6)
	832	998 (12.6)	997 (12.3)

为进一步评估汉语听觉阈下启动效应的持续时间，以所有被试真词条件下的平均启动效应(不相关条件反应时与相关条件反应时之差)为因变量，ISI 为自变量进行线性回归分析。回归曲线如图 2。结果显示，回归模型边缘显著，$R = 0.88$, $F(1, 3) = 9.99$，$p = 0.051$。

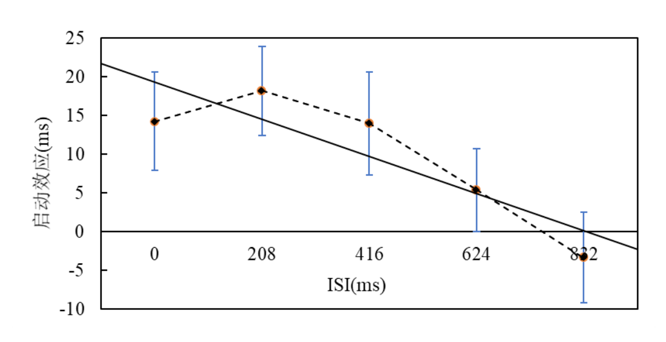


图 2 实验 3 真词条件下以启动效应为因变量、ISI 为自变量的回归曲线

4.3 讨论

实验 3 的结果发现，仅在真词条件下被试对启动、目标相关试次的反应比不相关试次更快，且相关性与 ISI 存在显著的交互作用。这说明汉语的听觉阈下重复启动效应受到 ISI 的影响。进一步的回归分析结果表明，启动效应的大小随着 ISI 的增大而减小。这与先前使用法语的研究结果一致(Dupoux et al., 2008)。具体而言，当 ISI 小于 416ms 时，听觉阈下重复启动效应显著，而 ISI 大于 624ms 时，听觉阈下重复启动效应不显著。这表明阈下呈现的汉语双字词无意识激活的持续时间可能介于 416ms 到 624ms 之间。汉语听觉阈下启动效应的持续时间与印欧语系语言十分接近(Dupoux et al., 2008)。

5 总讨论

本研究的 3 个实验系统地考察了汉语听觉阈下启动效应。实验一考察不同启动压缩率条件下汉语双字词听觉重复、语音、语素和语义启动效应。实验结果仅发现显著的听觉阈下重复启动效应。实验 2 在实验 1 的基础上考察汉语听觉阈下重复启动效应是否受到启动、目标声学特征相似性的影响。结果发现，启动、目标声学特征的相似性不影响阈下重复启动效应。实验 3 通过操纵启动和目标刺激的 ISI 来考察阈下启动词的无意识激活的持续时间。结果发现听觉阈下重复启动效应随着 ISI 的增大逐渐减小，仅在 ISI 小于等于 416ms 时才显著。

听觉掩蔽启动范式通过对启动刺激进行时域压缩来降低启动刺激的可觉察性。然而，压缩率太高就无法将对启动刺激的加工降至阈下水平，而压缩率过低则会导致无法对启动刺激进行任何认知加工。因此，实验中需要设置不同的压缩率来确定适宜的压缩率。之前研究发现，不同语言的适宜压缩率存在明显差异，如法语为 35%(Dupoux et al., 2008; Kouider & Dupoux, 2005)，德语则是 50%(Degner, 2011)。因此，为检验汉语双字词的适宜压缩率，本研究结合前人研究设置了 40%、50%和 60%三种压缩率。本研究的三个实验均采用主观报告与客观探测结合的方式对被掩蔽双字词的可觉察性进行了测量。三个实验结

果一致表明，当启动刺激时间压缩率为 40%时，被试无法觉察到被掩蔽的启动刺激，对其进行的是无意识加工。

本研究的三个实验均仅在真词中观察到显著的阈下重复启动效应。这与先前印欧、闪含语系语言的研究结果一致(Kouider & Dupoux, 2005; Ussishkin et al., 2015)。基于汉语复合词的分层聚类表征模型(Zhou & Marslen-Wilson, 1994, 1995)及本研究的结果，我们认为汉语双字词的听觉阈下重复启动效应是基于启动词整词表征的无意识激活。另外，实验 2 与 Kouider 和 Dupoux(2005)的研究结果一致表明，无论是汉语还是法语，听觉阈下重复启动效应都不受启动、目标声学特征相似性的影响。这也说明听觉阈下重复启动效应可能不是基于启动词低水平听觉感觉印象的无意识激活。

虽然真词的阈下重复启动效应显著，但真词的阈下语音、语素和语义启动效应都不显著。根据预激活模型，被掩蔽启动词的预激活使得其音、形、义的通达性高于其他词语(Forbach et al., 1974)。由于重复启动相关条件的目标词和启动词的音、形、义完全相同，启动词的预激活促进对目标词的通达和认知加工。但语音、语素和语义启动相关条件的目标词和启动词的音、形、义仅有某一种属性有关联。虽然启动词的预激活会促进目标词相应属性的通达性，但其他属性的不一致可能在整体上降低了目标词词汇表征的通达性。因此，本研究的阈下语音、语素和语义启动效应都不显著。根据这种解释，阈下启动词的音形、义信息可能都得到了无意识加工。但由于反应时指标的时间分辨率较低，本研究的结果无法确定启动词的预激活水平。未来研究可以使用时间分辨率较高的事件相关电位技术进一步考察启动词的预激活水平。

如前文所述，汉语存在显著的视觉阈下语义启动效应，即视觉通道阈下呈现的汉语双字词的阈下加工可以达到语义水平(沈模卫 等, 2004; 水仁德 等, 2003)。而本研究却没有在语义启动条件发现显著的阈下启动效应，即听觉通道阈下呈现的汉语双字词的阈下加工不能通过语义网络的自动激活扩散来促进相关目标词的识别。先前采用印欧、闪含语系语言材料的听觉掩蔽启动研究也都没有发现显著的听觉阈下语义启动效应(e.g., Lähteenmäki et al., 2019; Ussishkin et al., 2015)。而使用这些语言材料的视觉掩蔽启动研究也都发现了显著的阈下语义启动效应(e.g., Greenwald et al., 1996)。这些结果差异说明，视觉通道词语的语义自动激活扩散阈限可能比听觉通道词语更低。但是，这些结果差异也可能是视觉和听觉掩蔽语义启动研究实验细节方面的差异导致的。例如，有的视觉掩蔽语义启动研究采用语义分类任务(e.g., Greenwald et al., 1996)，而听觉掩蔽语义启动研究都是采用真假词判断任务。

虽然本研究没有发现显著的听觉阈下语义启动效应，但本研究的结果并不能排除汉语存在显著的听觉阈下语义启动效应的可能性。首先，本研究无法说明采用其他范式的听觉阈下启动实验是否能观察到显著的听觉阈下语义启动效应。听觉掩蔽启动范式对启动刺激进行时域压缩，而被压缩的语音刺激在生活中并不常见。这可能会减弱被试在无意识状态

下对启动刺激进行语义加工的深度。这可能是采用听觉掩蔽启动范式的研究没有发现显著的听觉阈下语义启动效应的原因之一(Daltrozzo et al., 2011)。未来研究可采用其它范式对汉语的听觉阈下语义启动效应进行考察。其次，本研究和先前的听觉掩蔽启动研究都是采用词汇判断任务。词汇判断任务可能不需要高水平的语义加工既可以完成。而语义启动效应更可能出现在需要较高水平的语义加工的任务中(如语义分类任务(Lupker, 1984; Shelton & Martin, 1992))。未来研究可以采用语义分类任务考察汉语的听觉阈下语义启动效应，并比较不同任务类型之间的阈下语义启动效应是否存在差异，以探讨自上而下的任务因素对汉语听觉阈下语义启动效应的影响。

实验 3 通过操纵 ISI 考察汉语阈下启动词的无意识激活的持续时间。实验结果发现，汉语听觉阈下重复启动效应的大小随着 ISI 的增加而减小直至消失，阈下启动词无意识激活的持续时间约在 416ms 至 624ms 之间。这个结果与使用法语词语的研究结果相近(Dupoux et al., 2008)。此外，视觉掩蔽启动研究发现，视觉阈下启动词无意识激活的持续时间约在 200ms 以内(e.g., Ferrand, 1996; Greenwald et al., 1996)，而听觉阈下启动词无意识激活的持续时间可能比视觉更长(400ms 以上)。这可能是因为映像记忆(iconic memory)的消退速度要比声像记忆(echoic memory)更快(Darwin et al., 1972; Sperling, 1960)。

6 结论

本研究以汉语双字词为实验材料，采用听觉掩蔽启动范式考察汉语的听觉阈下启动效应。本研究的结论如下：1）40%压缩率是使用听觉掩蔽启动范式考察汉语词汇无意识加工的适宜压缩率；2）汉语真词存在显著的听觉阈下重复启动效应，且阈下重复启动效应不依赖于启动、目标词之间声学特征的相似性；3）汉语双字词的阈下重复启动效应是基于启动词整词表征的无意识激活；4）汉语听觉阈下启动效应随启动、目标之间 ISI 的增大而减小。

参考文献

Bermeitinger, C., Wentura, D., Koppermann, C., Hauser, M., Grass, B., & Frings, C. (2012). The direction of masked auditory category priming correlates with participants' prime discrimination ability. *Advances in Cognitive Psychology*, *8*(3), 210–217. doi: 10.2478/v10053–008–0116–6

Bittner, R., Humphrey, E., & Bello, J. (2016). Pysox: Leveraging the audio signal processing power of sox in python. In *Proceedings of the International Society for Music Information Retrieval Conference Late Breaking and Demo Papers*.

Davis, C., & Kim, J. (2021). Bilingual lexical representation: We have some words to say. *Journal of Second Language Studies*, *4*(2), 353–374. doi: 10.1075/jsls.21015.dav

Davis, C., Kim, J., & Barbaro, A. (2010). Masked speech priming: neighborhood size matters. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *127*(4), 2110–2113. doi: 10.1121/1.3353116

Darwin, C. J., Turvey, M. T., & Crowder, R. G. (1972). An auditory analogue of the Sperling partial report procedure: Evidence for brief auditory storage. *Cognitive Psychology*, *3*(2), 255–267. doi: 10.1016/0010–

0285(72)90007–2

Degner, J. (2011). Affective priming with auditory speech stimuli. *Language and Cognitive Processes*, *26*(10), 1710–1735. doi: 10.1080/01690965.2010.532625

Dehaene, S., Jobert, A., Naccache, L., Ciuciu, P., Poline, J. B., Le Bihan, D., & Cohen, L. (2004). Letter binding and invariant recognition of masked words: behavioral and neuroimaging evidence. *Psychological Science, 15*(5), 307–313. doi: https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00674.x

Dupoux, E., de Gardelle, V., & Kouider, S. (2008). Subliminal speech perception and auditory streaming. *Cognition*, *109*(2), 267–273. doi: 10.1016/j.cognition.2008.06.012

Dupoux, E., Kouider, S., & Mehler, J. (2003). Lexical access without attention? Explorations using dichotic priming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *29*(1), 172–184. doi: 10.1037//0096–1523.29.1.172

Elgendi, M., Kumar, P., Barbic, S., Howard, N., Abbott, D., & Cichocki, A. (2018). Subliminal priming—state of the art and future perspectives. *Behavioral Sciences*, *8*(6), 54–77. doi: 10.3390/bs8060054

Ferrand, L. (1996). The masked repetition priming effect dissipates when increasing the inter–stimulus interval: Evidence from word naming. *Acta Psychologica*, *91*(1), 15–25. doi: 10.1016/0001–6918(95)00010–0

Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G* Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, *39*(2), 175–191. doi: 10.3758/BF03193146

Ferrand, L., & Grainger, J. (1992). Phonology and orthography in visual word recognition: Evidence from masked non-word priming. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, *45*(3), 353–372. doi: 10.1080/02724989208250619

Forbach, G. B., Stanners, R. F., & Hochhaus, L. (1974). Repetition and practice effects in a lexical decision task. *Memory & Cognition, 2*(2), 337–339. doi: 10.3758/BF03209005

Forster, K. I., & Davis, C. (1984). Repetition priming and frequency attenuation in lexical access. *Journal of experimental psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *10*(4), 680–698. doi: 10.1037/0278-7393. 10.4.680

Geary, J., & Ussishkin, A. (2019). Morphological priming without semantic relationship in Hebrew spoken word recognition. *Proceedings of the Linguistic Society of America*, *4*(9), 1–10. doi: 10. 3765/PLSA. V4I1. 4509

Grainger, J., Colé, P., & Segui, J. (1991). Masked morphological priming in visual word recognition. *Journal of Memory and Language*, *30*(3), 370–384. doi: 10.1016/0749-596X(91)90042-I

Greenwald, A. G., Draine, S. C., & Abrams, R. L. (1996). Three cognitive markers of unconscious semantic activation. *Science*, 273(5282), 1699–1702. doi: 10.1126/science.273.5282.1699

Jiang, Y. C., Cai, X., Zhang, Q. F. (2020). Theta band (4~8 Hz) oscillations reflect syllables processing in Chinese spoken word production. *Acta Psychologica Sinica, 52*(10), 1199–1211. doi: 10.3724/SP.J.1041.2020.01199

[蒋宇宸, 蔡笑, 张清芳. (2020). θ 频段(4~8 Hz)的活动反映了汉语口语产生中音节信息的加工. *心理学报, 52*(10), 1199–1211.]

Kiefer, M. (2002). The N400 is modulated by unconsciously perceived masked words: Further evidence for an automatic spreading activation account of N400 priming effects. *Cognitive Brain Research, 13*(1), 27–39. doi: 10.1016/S0926–6410(01)00085–4

Kopeikina, E. A., Choroshich, V. V., Aleksandrov, A. Y., & Ivanova, V. Y. (2015). Effects of unconscious perception of acoustic stimuli on event–related potential parameters. *Human Physiology*, *41*(3), 242–250. doi: 10.1134/S0362119715020085

Kouider, S., & Dehaene, S. (2007). Levels of processing during non–conscious perception: a critical review of

visual masking. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *362*(1481), 857–875. doi: 10.1098/rstb.2007.2093

Kouider, S., & Dupoux, E. (2005). Subliminal speech priming. *Psychological Science*, *16*(8), 617–625. doi: https://doi.org/10.1111/j.1467–9280.2005.01584.x

Lähteenmäki, M., Kauramäki, J., Sauter, D. A., & Nummenmaa, L. (2019). Auditory affective processing requires awareness. *Emotion, 19*(1), 53–69. doi: 10.1037/emo000038

Latinus, M., & Belin, P. (2011). Human voice perception. *Current Biology*, *21*(4), 143–145. doi: 10.1016/j.cub.2010.12.033

Lupker, S. J. (1984). Semantic priming without association: A second look. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *23*(6), 709–733. doi: 10.1016/S0022–5371(84)90434–1

Ma, L. J., & Zhang, J. J. (2011). The psychological mechanisms of subliminal priming of information processing. *Journal of Psychological Science*, *34*(5), 1040–1045. doi: 10.16719/j. cnki.1671–6981.2011. 05.020

[马利军, 张积家. (2011). 阈下启动信息加工的心理机制. 心理科学, 34(5), 1040–1045.]

Marcel, A. J. (1983). Conscious and unconscious perception: Experiments on visual masking and word recognition. *Cognitive Psychology*, *15*(2), 197–237. doi: 10.1016/0010-0285(83)90009-9

Pasinski, A. C., McAuley, J. D., & Snyder, J. S. (2016). How modality specific is processing of auditory and visual rhythms?. *Psychophysiology*, *53*(2), 198–208. doi: 10.1111/psyp.12559

Peirce, J. W. (2007). PsychoPy—psychophysics software in Python. *Journal of neuroscience methods*, *162*(1–2), 8–13. doi: 10.1016/j.jneumeth.2006.11.017

Rastle, K., Davis, M. H., Marslen-Wilson, W. D., & Tyler, L. K. (2000). Morphological and semantic effects in visual word recognition: A time-course study. *Language and Cognitive Processes*, *15*(4-5), 507–537. doi: 10.1080/01690960050119689

Schluter, K. T. (2013). *Hearing words without structure: subliminal speech priming and the organization of the moroccan arabic lexicon*. (PhD), University of Arizona, Tucson, AZ.

Shelton, J. R., & Martin, R. C. (1992). How semantic is automatic semantic priming?. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *18*(6), 1191–1210. doi: 10.1037/0278–7393.18.6.1191

Shen, D., & Forster, K. I. (1999). Masked phonological priming in reading Chinese words depends on the task. *Language and Cognitive Processes*, *14*(5-6), 429–459. doi: 10.1080/016909699386149

Shen, M. W., Gao, T., & Ding, H. J. (2004). A study of Chinese and Arabic numerals' subliminal priming effects. *Psychological Science*. *27*(1), 13–17. doi: 10.16719/j.cnki.1671–6981.2004.01.004

[沈模卫, 高涛, 丁海杰. (2004). 汉字数字与阿拉伯数字的阈下启动研究. *心理科学*, *27*(1), 13–17.]

Shui, R. D., Ding, H. J., & Shen, M. W. (2003). Unconscious Mechanisms of Chinese Characters in Subliminal Semantic Activation. *Psychological Science*, *26*(6), 1025–1029. doi: 10.16719/j. cnki.1671–6981.2003.06.016

[水仁德, 丁海杰, 沈模卫. (2003). 汉语阈下语义启动无意识机制研究. *心理科学*, *26*(6), 1025–1029.]

Song, J., & Lv, Y. (2015). Influence of top–down modulation on automatic process in masked priming. *Advances in Psychological Science*, *23*(5), 766–773. doi: 10.3724/SP.J.1042. 2015.00766

[宋娟, 吕勇. (2015). 自上而下的因素对掩蔽启动中自动加工过程的影响. *心理科学进展, 23*(5), 766–773.]

Sperling, G. (1960). The information available in brief visual presentations. *Psychological Monographs: General and Applied*, *74*(11), 1–29. doi: 10.1037/h0093759

Sweeny, T. D., Grabowecky, M., Suzuki, S., & Paller, K. A. (2009). Long-lasting effects of subliminal affective priming from facial expressions. *Consciousness and Cognition*, *18*(4), 929–938. doi: 10.1016/j.concog. 2009.07.011

Ussishkin, A., Dawson, C. R., Wedel, A., & Schluter, K. (2015). Auditory masked priming in Maltese spoken word recognition. *Language, Cognition and Neuroscience*, *30*(9), 1096–1115. doi:

10.1080/23273798.2015.1005635
Verhelst, W., & Roelands, M. (1993). An overlap–add technique based on waveform similarity (WSOLA) for high quality time–scale modification of speech. In *1993 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, *2*, 554–557. doi: 10.1109/ICASSP.1993.319366
Wang, P., & Lu, C. X. (2005). The Semantic Categories in Subliminal Priming. *Psychological Science*, *28*(6), 1344–1346. doi: 10.16719/j.cnki.1671–6981.2005.06.015
[王沛, 鲁春晓. (2005). 阈下启动的心理机制初探. *心理科学*, *28*(6), 1344–1346.]
Wang, J., Tian, J., Han, W., Liversedge, S. P., & Paterson, K. B. (2014). Inhibitory stroke neighbour priming in character recognition and reading in Chinese. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *67*(11), 2149–2171. doi: 10.1080/17470218.2014.909507
Wang, Y., & Zhang, J. J. (2013). The Interaction of Semantic and Syntactic Information in Chinese–English Bilinguals' Early Recognition of Polysemous Words. *Acta Psychologica Sinica, 45*(3), 298–309. doi: 10.3724/SP.J.1041.2013.00298
[王悦, 张积家. (2013). 熟练中-英双语者对多义词早期识别中语义和语法的相互作用. *心理学报, 45*(3), 298–309.]
Wang, Y., & Zhang, J. J. (2014). The Masked Translation Effect with Homograph and Non-homograph in Non-proficient Chinese-Japanese Bilinguals. *Acta Psychologica Sinica, 46*(6), 765–776. doi: 10.3724/SP.J.1041.2014.00765
[王悦, 张积家. (2014). 不熟练中–日双语者同形词和非同形词的隐蔽翻译启动效应. *心理学报, 46*(6), 765–776.]
Weekes, B. S., Chen, M. J., & Lin, Y. B. (1998). Differential effects of phonological priming on Chinese character recognition. *Reading and Writing*, *10*(3), 201–221. doi: 10.1023/A:1008087715413
Wu, S. S., Tan, J. F., Wang, L. J., & Chen, A. H. (2013). The influencing factors of subliminal semantic priming effects. *Advances in Psychological Science*, *21*(4), 626–636. doi: 10.3724/SP.J. 1042.2013.00626
[伍姗姗, 谭金凤, 王丽君, 陈安涛. (2013). 阈下语义启动效应影响因素述评. *心理科学进展*, *21*(4), 626–636.]
Wu, C., Zhang, J., & Yuan, Z. (2020). Affective picture processing is modulated by emotion word type in masked priming paradigm: An event–related potential study. *Journal of Cognitive Psychology*, *32*(3), 287–297. doi: 10.1080/20445911.2020.1745816
Zhang, J., Wu, C., Zhou, T., & Meng, Y. (2019). Cognate facilitation priming effect is modulated by writing system: Evidence from Chinese-English bilinguals. *International Journal of Bilingualism*, *23*(2), 553–566. doi: 10.1177/1367006917749062
Zhang, Q., & Damian, M. F. (2019). Syllables constitute proximate units for Mandarin speakers: Electrophysiological evidence from a masked priming task. *Psychophysiology, 56*(4), e13317. doi: 10.1111/psyp.13317
Zhao, S. M., Wu, Y., Li, T. H., & Guo, Q. T. (2017). Morpho-semantic processing in Chinese word recognition: An ERP study. *Acta Psychologica Sinica, 49*(3), 296–306. doi: 10.3724/SP.J. 1041.2017.00296
[赵思敏, 吴岩, 李天虹, 郭庆童. (2017). 词汇识别中歧义词素语义加工：ERP 研究. *心理学报, 49*(3), 296–306.]
Zhou, X., & Marslen-Wilson, W. (1994). Words, morphemes and syllables in the Chinese mental lexicon. *Language and Cognitive Processes, 9*(3), 393-422. doi: 10.1080/01690969408402125
Zhou, X., & Marslen-Wilson, W. (1995). Morphological structure in the Chinese mental lexicon. *Language and Cognitive Processes*, *10*(6), 545–600. doi: 10.1080/01690969508407114
Zhou, X., Marslen-Wilson, W., Taft, M., & Shu, H. (1999). Morphology, orthography, and phonology reading Chinese compound words. *Language and Cognitive Processes*, *14*(5-6), 525–565. doi: 10.1080/

016909699386185
Zou, L. J., & Shu, H. (2013). The Cognitive and Neural Mechanisms of Morphological Processing During Word Recognition. *Advances in Psychological Science, 21*(9), 1570–1577. doi: 10.3724/SP.J.1042.2013.01570
[邹丽娟, 舒华. (2013). 语素在词汇识别中的认知及神经机制. *心理科学进展*, *21*(9), 1570–1577.]
教育部语言文字应用研究所计算语言学研究室. (2011). *语料字词检索*. 语料库在线. http://corpus.zhonghuayuwen.org/index.aspx

Subliminal Speech Priming of Mandarin Chinese: Evidence from the Auditory Masked Priming Paradigm

JIANG Luyao[1,2]; LI Bingbing[1]

([1] *School of Education Science, Jiangsu Normal University, Xuzhou* 221116, *China*)

([2] *School of Psychology, Nanjing Normal University, Nanjing* 210097, *China*)

Abstract

Subliminal priming refers to the effect of unconsciously processed prime on the cognitive processing of the related target. Subliminal priming studies have found that the semantic and emotional information of Chinese characters or words can be accessed without consciousness. However, most prior studies focused on the unconscious processing of visual words but ignored the unconscious processing of auditory words. The present study aimed to investigate unconscious processing of auditory words from Mandarin Chinese.

The auditory masked priming paradigm is one of the most widely used tools to investigate the unconscious processing of auditory words. In a typical auditory masked priming study, a prime word, which is masked by a stream of time compressed speech-like sounds with similar spectral characteristics, is presented prior to the target word. Auditory masked priming studies using words from Indo-European languages only found a significant subliminal auditory repetition priming effect. However, studies using words from Semito-Hamitic languages also found a significant morphological priming effect. These results suggest that the mechanisms of subliminal auditory priming are different across different language families. While the subliminal speech priming of Indo-European and Semito-Hamitic has been investigated extensively, the subliminal speech priming of Mandarin Chinese has rarely been explored. Therefore, the present study, which included three experiments, used two-character Chinese words as materials to explore the psychological mechanism of subliminal speech priming of Mandarin Chinese using auditory masked priming paradigm.

Experiment 1 was conducted with a 3 (time compression of the prime: 40%, 50%, 60%) × 2 (relation: related vs. unrelated) × 6 (prime condition: repetition, morphological, phonological, and semantic priming of word; repetition and first-character priming of nonword) mixed design to examine the processing level of the unconscious processing of auditory words from Mandarin Chinese. Experiment 2 was conducted with a 2 (voice change: same vs. different) × 2 (relation: related vs. unrelated) × 2 (stimulus type: word vs. nonword) within-subject design to examine whether the subliminal speech priming effect of Mandarin Chinese is influenced by the acoustic similarity between the prime and target. Experiment 3 manipulated the ISI (interstimulus interval) between the prime and the target to examine the duration of the subliminal prime processing.

The results of Experiment 1 showed that participants were unaware of the primes at the 40% compression rate, and the response times (RTs) to related trials were significantly shorter than the RTs to unrelated trials in the repetition priming conditions for real words when the compression rate was 40%. These results suggested that the unconscious processing of subliminal Chinese words could facilitate the processing of the same word. The results of Experiment 2 revealed that the interaction effect between the prime-target relation and prime and target voice congruence was not significant, which indicated that subliminal repetition priming effects were not affected by acoustic similarity between the prime and the target. The results of Experiment 3 revealed a significant interaction between prime-target relation and the ISI between prime and target. The subliminal repetition priming effect was significant when the ISI was 0 ms, 208 ms or 416 ms but not when the ISI was greater than 416 ms.

In sum, the present study explored the unconscious processing of two-character Mandarin Chinese words using auditory masked priming paradigm and found that the lexical information of two-character Mandarin Chinese words could be accessed without consciousness.

Keywords Chinese two-character word, auditory masked priming paradigm, subliminal priming effect, unconscious processing